

OBSAH

PREDHOVOR	7
1 FOTOGRAMETRIA	9
1.1 ZÁKLADNÁ MYŠLIENKA FOTOGRAMETRIE	9
1.2 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY FOTOGRAMETRIE	9
1.2.1. Nájdenie vhodnej polohy kamery od analyzovaného objektu	9
1.2.2. Orientácia obrazu	10
1.2.3. Vzájomná poloha kamier	11
1.3 DIGITÁLNE SNÍMAČE	11
1.3.1. CCD snímače	12
1.3.2. CMOS snímače	17
1.3.3. Záznam farebného obrazu	19
2 POČÍTAČOVÉ VIDENIE	21
2.1 MODEL ŠTRBINOVEJ KAMERY	21
2.2 GEOMETRICKÉ ASPEKTY STEREO-OBRAZOVEJ ANALÝZY	23
2.3 STEREO-OBRAZOVÁ ANALÝZA V ZMYSLE PROJEKČNEJ GEOMETRIE	25
2.3.1. Definícia súradníc a parametrov kamery	25
2.3.2. Esenciálna matica	25
2.3.3. Fundamentálna matica	26
2.3.4. Projekčná rekonštrukcia obrazu	27
2.3.5. Metóda vyrovnávania zväzkov	29
3 KALIBRÁCIA JEDNEJ A VIACERÝCH KAMIER	31
3.1 STRUČNÝ HISTORICKÝ PREHĽAD KALIBRAČNÝCH METÓD	31
3.2 METÓDA PRIAMEJ LINEÁRNEJ TRANSFORMÁCIE	31
3.3 METÓDA KALIBRÁCIE KAMIER PODĽA TSAIA	34
3.4 METÓDA KALIBRÁCIE KAMIER PODĽA ZHANGA	35
4 DIGITÁLNA OBRAZOVÁ KORELÁCIA	39
4.1 PRINCÍP METÓDY DIGITÁLNEJ OBRAZOVEJ KORELÁCIE	39
4.2 KORELAČNÉ ALGORITMY	40
4.2.1. Algoritmus sledovania translačného pohybu	40
4.2.2. Metóda zahnutých plôch	41
4.2.3. Newton-Raphsonova metóda	42
4.2.4. Algoritmus založený na optickom toku	44
4.2.5. Korelácia využitím pseudo-afinitnej transformácie	44
4.3 CHYBY A NEPRESNOSTI DIGITÁLNEJ OBRAZOVEJ KORELÁCIE	45
4.3.1. Korelačné chyby	45
4.3.2. 3D rekonštrukčné chyby	46
4.4 MERACIE ZARIADENIA PRE DIGITÁLNU OBRAZOVÚ KORELÁCIU	47
4.4.1. Systém Q-400	47
4.4.2. Systém Q-400 Micro	48
4.4.3. Systém Q-480	49
4.4.4. Systém Q-450	50



4.5 POSTUP PRI PRÁCI S KORELAČNÝMI ZARIADENIAMI	51
5 VLNOVÉ VLASTNOSTI SVETLA	63
5.1 INTENZITA SVETLA	67
5.2 INTERFERENCIA SVETLA	69
5.2.1. Interferencia dvoch vln s rovnakou frekvenciou	69
5.2.2. Interferencia dvoch vln s rôznou frekvenciou	70
5.2.3. Interferencia dvoch vln s rôznou amplitúdou	71
5.3 KOHERENCIA	72
5.3.1. Časová koherencia	72
5.3.2. Priestorová koherencia	74
5.4 DIFRAKCIA	76
5.4.1. Fresnel-Kirchhoffov difrakčný integrál	77
5.4.2. Fresnelova difrakcia	79
5.4.3. Fraunhoferova difrakcia	81
5.4.4. Optická difrakcia ako prenos lineárnym systémom	82
5.5 ŠKVRNY A SPECKLE-EFEKT	84
5.5.1. Speckle intenzita a fáza	86
5.5.2. Veľkosť škvŕn	90
6 HOLOGRAFIA A HOLOGRAFICKÁ INTERFEROMETRIA	93
6.1 ZÁKLADY HOLOGRAFIE	94
6.1.1. Základné rovnice holografického procesu	94
6.1.2. Základné typy hologramov	96
6.1.3. Základné vlastnosti hologramov	99
6.1.4. Princípy digitálnej holografie	100
6.2 HOLOGRAFICKÁ INTERFEROMETRIA	102
6.2.1. Tvorba interferenčných pruhov v holografickej interferometrii	103
6.2.2. Princíp vytvárania interferenčných pruhov pri metóde dvoch expozícií	106
6.2.3. Metóda reálneho času	108
6.2.4. Metóda časového priemeru	109
6.2.5. Metóda posunutia fázy	110
6.2.6. Holografické interferenčné obrazce a ich interpretácia	111
6.2.6.1. Určenie premiestnení na základe využitia parametrov lokalizácie a kontrastu interferenčných pruhov	113
6.2.6.2. Interpretácia interferogramov na základe absolútneho radu pruhov	114
6.2.6.3. Interpretácia interferogramov na základe relatívneho radu pruhov	115
6.3 OBLASTI VYUŽITIA HOLOGRAFICKEJ INTERFEROMETRIE	116
6.3.1. Meranie deformácií na povrchu objektov	117
6.3.2. Nedeštruktívne hodnotenie materiálu	120
6.3.3. Analýza kmitania	121
6.3.3.1. Metóda Powella a Stetsona	122
7 SPECKLE-INTERFEROMETRIA A ELEKTRONICKÁ SPECKLE-INTERFEROMETRIA	125
7.1 ZÁKLADY SPECKLE-INTERFEROMETRIE	125
7.1.1. Korelačná speckle-interferometria	125

7.1.2. Speckle-interferometria s posunutím fázy	128
7.1.3. Aplikácia speckle-fotografie a speckle-interferometrie	130
7.2 ELEKTRONICKÁ SPECKLE-INTERFEROMETRIA (ESPI)	131
7.2.1. Meranie posunutí v smere normály k vyšetrovanej ploche	132
7.2.2. Meranie posunutí v rovine rovnobežnej s obrazovou rovinou	133
7.2.3. Meranie posunutí v priestore	134
7.2.4. Posunutie a rozbalenie fázy	135
7.2.4.1. Technika časového posunutia fázy	135
7.2.4.2. Technika priestorového posunutia fázy	137
7.2.4.3. Rozbalenie fázovej mapy	138
7.2.5. Výpočet posunutí a pomerných deformácií	138
7.3 MERACIE ZARIADENIA PRE ELEKTRONICKÚ SPECKLE-INTERFEROMETRIU	140
7.3.1. Systém Q-100	141
7.3.2. Systém Q-300	144
7.3.3. Systém Q-500 (3D Vibro ESPI)	147
7.3.4. Systém Q-600 (PulsESPI)	150
8 DIGITÁLNA SPECKLE-SHEAROGRAFIA	153
8.1 PRINCÍP DIGITÁLNEJ SPECKLE-SHEAROGRAFIE	153
8.2 MERACIE ZARIADENIA PRE DIGITÁLNU SHEAROGRAFIU	156
8.2.1. Systém Q-800	156
8.2.2. Systém Q-810	158
9 UKÁŽKY PRAKTICKÝCH APLIKÁCIÍ VYBRANÝCH OPTICKÝCH METÓD	159
9.1 TRANSMISNÁ FOTOELASTICIMETRIA	159
9.1.1. Celoplošná napäťová analýza nosnej časti strešnej konštrukcie využitím optických metód mechaniky	159
9.1.2. Napäťová analýza skrutkového spoja využitím transmisnej fotoelasticimetrie	163
9.1.3. Optimalizácia tvaru konštrukčných prvkov uplatnením transmisnej fotoelasticimetrie	171
9.1.4. Optimalizácia tvaru tesniaceho krúžku záverového mechanizmu	175
9.2 METÓDA PHOTOSTRESS	180
9.2.1. Separácia hlavných pomerných deformácií a hlavných normálových napätí na vidlicovom kľúči	180
9.2.2. Analýza kontaktných napätí využitím metódy PhotoStress	189
9.3 LASEROVÁ VIBROMETRIA	202
9.3.1. Experimentálna modálna analýza činela	202
9.3.2. Použitie skenovacieho vibrometra pri analýze kmitania rotujúceho disku	205
9.4 DIGITÁLNA OBRAZOVÁ KORELÁCIA	207
9.4.1. Príklady aplikácií korelačného systému Q-400	207
9.4.1.1. Verifikácia numerických modelov	207
9.4.1.2. Porovnanie výsledkov deformačnej analýzy získaných metódou DIC s konvenčnými meracími technikami	210
9.4.1.3. Možnosti doplnkového spracovania nameraných dát	212
9.4.2. Príklady aplikácií korelačného systému Q-450	213



9.4.2.1. Trojrozmerná pohybová analýza mechanických systémov	213
9.4.2.2. Analýza kmitania rotujúceho objektu	217
9.4.2.3. Určovanie obrazca stojatej vlny	222
9.4.2.4. Pádová skúška cyklistickej prilby	225
9.4.3. Modifikácia korelačných zariadení pre rozšírenie možnosti ich ďalšieho využitia	227
9.4.3.1. Program Q-STRESS v.1.0 – nástroj pre výpočet a vizualizáciu napätových polí	227
9.4.3.2. Aplikácia programu Q-STRESS pri napäťovej analýze okolia malého otvoru	230
9.4.3.3. Program MODAN 3D v.1.0 – nástroj pre vykonávanie experimentálnej modálnej analýzy	232
9.4.3.4. Identifikácia násobných vlastných tvarov kmitania využitím funkcie CMIF	235
9.4.3.5. Analýza vplyvu teploty na posuv vlastných frekvencií kmitania	237
9.5 ELEKTRONICKÁ SPECKLE-INTERFEROMETRIA	239
9.5.1. Aplikácia metódy ESPI pri analýze zvyškových napätí	239
9.5.2. Štvorbodový rovinný ohyb nosníka	240
9.5.3. Napäťovo-deformačná analýza vzoriek z kompozitného materiálu	243
9.5.4. Porovnanie metódy ESPI a DIC pri vyšetrovaní deformácie v okolí koncentrátora napätosti	246
10 LITERATÚRA	253